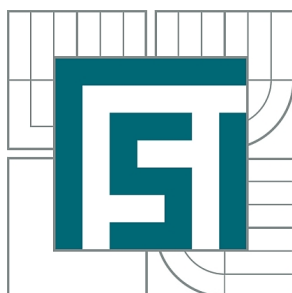




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

# **VLIV TVARU VÝSTUPNÍ HRANY LOPATKOVÉ MŘÍŽE NA PARAMETRY HYDRAULICKÉHO STROJE**

INFLUENCE OF THE TRAILING EDGE ON HYDRAULIC MACHINE PARAMETERS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. DAN POSPÍŠIL**

**VEDOUcí PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. PAVEL RUDOLF, Ph.D.**

BRNO 2013



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2012/13

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Dan Pospíšil

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Fluidní inženýrství (2301T036)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

**Vliv tvaru výstupní hrany lopatkové mříže na parametry hydraulického stroje**

v anglickém jazyce:

**Influence of the trailing edge on hydraulic machine parameters**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na zjištění vlivu tvaru výstupní hrany lopatky hydraulického stroje na zpracovávanou měrnou energii, účinnost a kavitační vlastnosti. Studie vychází z výpočtového modelování na rozvinuté lopatkové mříži radiálního stroje.

Cíle diplomové práce:

1. Rozvinutí prostorového řezu lopatky do rovinné lopatkové mříže.
2. S využitím CFD modelování stanovit vliv tvaru výstupní hrany lopatkové mříže oběžného kola na hydraulické parametry (zpracovávaná měrná energie, účinnost, kavitační vlastnosti) stroje pro turbínový i čerpadlový režim . Bude řešeno zakončení ostrou hranou, zaoblením a zkosením.

Seznam odborné literatury:

1. Nechleba, M.: Hydrodynamika lopatkových strojů, Ediční středisko VUT, Brno, 1968.
2. Fleischner, P.: Vybrané statě z mechaniky tekutin, SNTL Praha, 1986.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Pavel Rudolf, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 20.11.2012



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.  
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá možností zjednodušení výpočtu hydraulického stroje díky převedení trojrozměrné geometrie do roviny. Cílem práce je vytvořit úpravy výstupní hrany lopatkové mříže a zjistit jejich vliv na hydraulické parametry stroje.

## **Abstract**

Master's thesis deals with possibility of simplifying calculation hydraulic machines by converting the three-dimensional geometry in the plane. The aim is to create modifications of a trailing edge and determine their effect of the hydraulic parameters of the machine.

## **Klíčová slova**

Výstupní hrana, hydraulický stroj, radiální stroj, lopatková mříž, účinnost, kavitace

## **Keywords**

Trailing edge, hydraulic machine, radial machine, blade cascade, efficiency, cavitation

## **Bibliografická citace**

POSPÍŠIL, D. *Vliv tvaru výstupní hrany lopatkové mříže na parametry hydraulického stroje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 71 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Pavel Rudolf, Ph.D..

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Vliv výstupní hrany lopatkové mříže na parametry hydraulického stroje vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této práce.

24. května 2013

.....

Bc. Dan Pospíšil

## **Poděkování**

Děkuji panu doc. Ing. Pavlu Rudolfovi, Ph.D. za pomoc, rady a věcné připomínky při tvorbě této práce.

Děkuji firmě ČKD Blansko Engineering, a.s. zvláště Ing. Alešovi Skotákovi, Ph.D. za zadání práce a poskytnutí dat.

Děkuji doc. Ing. Miloslavem Haluzou, CSc. za návrh radiální turbíny.



## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Hydraulický stroj .....</b>	<b>12</b>
2.1	Základní vztahy .....	12
2.2	Rychloběžnost stroje .....	12
<b>3</b>	<b>Kavitace.....</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>Transformace proudové plochy na rovinu [5].....</b>	<b>16</b>
4.1	Axiální stroje .....	16
4.2	Radiální stroje – Königova transformace .....	18
4.3	Radiační stroje – obecné konformní zobrazení .....	21
<b>5</b>	<b>Základní návrh výpočtu .....</b>	<b>24</b>
5.1	Zadaná geometrie .....	24
5.2	Převod do konformního zobrazení .....	24
5.3	Výpočetní doména.....	27
5.4	Výpočetní model .....	29
5.4.1	Model $k-\varepsilon$ realizable [6], [7].....	29
5.4.2	Stěnová funkce Non-equilibrium [6], [7] .....	30
5.5	Zadání výpočtu .....	31
5.6	Vyhodnocení.....	31
<b>6</b>	<b>Radiální oběžné kolo .....</b>	<b>36</b>
6.1	Základní parametry čerpadla [8].....	36
6.2	Výpočet vnějšího průměru oběžného kola [8].....	36
6.3	Výpočet neznámých rozměrů oběžného kola [8] .....	38
6.4	Tvorba lopatkování [8] .....	39
6.4.1	Lineární změna $\tan\beta$ na souřadnici $\zeta$ [8] .....	40
6.4.2	Vytvoření lopatek oběžného kola .....	41
6.5	Výpočet radiálního oběžného kola .....	42
6.6	Výpočet radiálního oběžného kola v konformním zobrazení.....	46
6.6.1	Základní výpočet .....	46
6.6.2	Úprava výpočtu .....	48
<b>7</b>	<b>Možnosti úpravy výpočtu radiálního oběžného kola .....</b>	<b>50</b>
7.1	Vložení dalšího rozměru do domény.....	50
7.2	Využití UDF .....	51
<b>8</b>	<b>Vliv výstupní hrany .....</b>	<b>53</b>
8.1	Úpravy výstupní hrany čerpadla.....	53
8.2	Úpravy výstupní hrany turbíny.....	60
<b>9</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>68</b>

<b>10</b>	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>69</b>
<b>11</b>	<b>Seznam použitých zkratk, symbolů a indexů .....</b>	<b>70</b>
11.1	Použité zkratky.....	70
11.2	Použité symboly.....	70
11.3	Použité indexy.....	71

# 1 Úvod

Diplomová práce se zabývá převodem trojrozměrné geometrie do roviny a následnou úpravou výstupní hrany lopatky hydraulického stroje.

Při běžném návrhu nového hydraulického stroje se můžeme dostat do situace, kdy návrhový bod přímo neodpovídá zadání, ale je mu velice blízko, tato situace může například nastat až u hotového modelu na zkušebně. Jako jednoduchá úprava pro lepší parametry se jeví zkosení výstupní hrany, čímž upravíme proudění za lopatkou. Tím ovlivníme úhly rychlostí na výstupu oběžného kola a celou charakteristiku hydraulického stroje. Úpravu výstupní hrany lze s výhodou použít při potížích s pulzacemi, které jsou buzené kapalinou za oběžným kolem. Problémem po úpravě výstupní hrany u turbíny může být kavitace, jelikož může dojít k lokálnímu snížení tlaku pod tlak nasycených par kapaliny. Zde však samozřejmě záleží i na uložení stroje, ne pouze na tlakových poměrech na samotném oběžném kole.

Cílem práce je pomocí CFD modelování zjistit vlastnosti zadaných oběžných kol po úpravě výstupní hrany. Protože jsou výsledky z CFD modelování pouze pro část hydraulického stroje (oběžné kolo), budou výsledky vztaženy vždy k původnímu tvaru výstupní hrany.

## 10 Seznam použité literatury

- [1] NECHLEBA, M. a J. HUŠEK. *Hydraulické stroje*. Praha: SNTL, 1966
- [2] MALIJEVSKÁ, I., A. MALIJEVSKÝ a J. NOVÁK. *Záhady, klíče, zajímavosti - Očima fyziální chemie*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2004
- [3] SUCHÁNEK, J. *TRIBOLÓGIA: Kavitační opotřebení* [online]. [cit. 2013-duben-2]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-12011/kavitacni-opotrebeni.html>
- [4] NECHLEBA, M., CHLEBOVSKÝ A. *Vodní turbíny, jejich konstrukce a příslušenství*. Praha: Tisk, knižní výroba, n. p. Brno, 1962, 676 s
- [5] FLEISCHNER, P. a M. NECHLEBA. *Hydromechanika lopatkových strojů*. Brno: VUT v Brně, 1980, 256 s
- [6] *Nápověda aplikace ANSYS 14.0*. 2011
- [7] RUDOLF, P. *Výpočtové modelování proudění - poznámky z přednášek předmětu*. Brno: VUT v Brně, 2012
- [8] HALUZA, M. *Tekutinové stroje I. - poznámky z přednášek předmětu*. Brno: VUT v Brně, 2012
- [9] ZOBEIRI, A., et al. How oblique trailing edge of a hydrofoil reduces the vortex-induced vibration. *Journal of Fluids and Structures*. 2012, č. 32, s. 78-89
- [10] DO, T., L. CHEN a J. TU. Numerical study of turbulent trailing-edge flows with base cavity effects using URANS. *Journal of Fluids and Structures*. 2010, č. 26, s. 1155-1173